ТОЧНО РЕШАЕМЫЕ МОДЕЛИ УДЕЛЬНОГО ЭФФЕКТИВНОГО СЕЧЕНИЯ РАССЕЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО СТАТИСТИЧЕСКИ ОДНОРОДНОГО СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ДЛИННОВОЛНОВОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

А. Э. Рассадин
(Нижний Новгород, НРО НТОРЭС им. А. С. Попова, brat_ras@list.ru)

EXACTLY SOLVED MODELS OF SPECIFIC EFFECTIVE DISPERSION SECTION OF DYNAMICAL STATISTICALLY HOMOGENEOUS SNOWY COVER IN LONGWAVELENGTH APPROXIMATION

A. E. Rassadin

При концептуальном проектировании радиолокационных станций с синтезированием апертуры антенны (РСА) крайне важны точно решаемые модели удельной эффективной поверхности рассеяния (УЭПР) подстилающей поверхности (ПП). В работах [1, 2] с помощью физической теории дифракции построены такие модели для случая, когда высота ПП много больше длины зондирующей волны λ. В данной работе рассмотрены модели для обратного предельного случая.

Пусть высота z ПП представляет собой эволюционирующую во времени цилиндрическую поверхность с образующими, параллельными оси y декартовой системы координат xyz, тогда в приближении мелкомасштабной ($|z(x,t)| << \lambda$) статистически однородной ПП для случая обратного рассеяния в каждый момент времени для УЭПР $\sigma^0_{ab}(x,t)$ имеем (нижние индексы обозначают вертикальную и горизонтальную поляризацию электромагнитных волн) [3]:

$$\frac{d\sigma^0_{ab}}{dy}(x,t) = 8 \cdot \left(\frac{\omega}{c}\right)^4 \cdot M_{ab}(x) \cdot G_z(k(x);t), \tag{1}$$

где ω — частота зондирующей волны, c — скорость света в вакууме,

$$G_z(k;t) = \frac{1}{2\cdot\pi} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} B_z(s;t) \cdot \exp(-i \cdot k \cdot s) \cdot ds \tag{2}$$

— фурье-образ автокорреляционной функции (АКФ) высоты ПП:

$$B_z(s;t) = < z(x,t) \cdot z(x+s,t) > \tag{3}$$

(скобки в (3) означают статистическое усреднение). Коэффициенты рассеяния M_{ab} являются функциями от пространственной координаты x, потому что от неё зависит угол падения зондирующей волны $\theta_i(x)$. Если воздушный носитель РСА движется строго вдоль оси y на высоте H, то

$$\theta_i(x) = arctg\frac{x}{H}. \tag{4}$$

В этом случае локальный волновой вектор $k(x)$, входящий в аргумент фурье-образа АКФ высоты ПП в (1), равен:

$$k(x) = -2 \cdot \frac{\omega}{c} \cdot \frac{x}{\sqrt{H^2 + x^2}}. \tag{5}$$

Будем интерпретировать ПП как снежный покров, растущий со скоростью a, тогда его высота $z(x,t)$ подчиняется нелинейному дифференциальному уравнению [4]:

$$\frac{\partial z}{\partial t} = a \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2}. \tag{6}$$

Поскольку неравенство $|\partial z/\partial x| << 1$ является вторым из условий применимости модели мелкомасштабной поверхности [3], то, раскладывая корень в (6) в ряд Тейлора и вводя новую неизвестную функцию $h(x,t)$ согласно $z(x,t) = a \cdot t + h(x,t)$, получим, что $h(x,t)$ подчиняется уравнению в частных производных:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{a}{2} \cdot \left(\frac{\partial h}{\partial x}\right)^2 . \tag{7}$$

АКФ высоты ПП $z(x,t)$ выражается через АКФ $h(x,t)$ следующим образом:

$$B_z(s;t) = B_h(s;t) - a^2 \cdot t^2 , \tag{8}$$

а их фурье-образы связаны соотношением:

$$G_z(k;t) = G_h(k;t) - a^2 \cdot t^2 \cdot \delta(k) \tag{9}$$

(обозначения в (8) и (9) очевидны из сравнения их с формулами (3) и (2)). Отметим, что в (9) в силу (5) дельта-функция не работает, потому что $x = 0$ соответствует зондированию в надир. При выводе (8) использовано условие $< z(x,t) >= 0$ (при котором справедливо выражение (1) [3]), поэтому

$$< h(x,t) >= -a \cdot t . \tag{10}$$

Уравнение (7) известной подстановкой [4]

$$v(x,t) = -a \cdot \frac{\partial h(x,t)}{\partial x} \tag{11}$$

сводится к уравнению Римана:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial x} = 0 , \tag{12}$$

причём из условия (10) следует, что

$$< v(x,t) >= -a \cdot \frac{\partial < h(x,t) >}{\partial x} \equiv 0 . \tag{13}$$

АКФ для случайного поля (11) равна [5]:

$$B_v(s;t) = -a^2 \cdot \frac{\partial^2 B_h(s;t)}{\partial s^2} , \tag{14}$$

откуда

$$G_h(k;t) = \frac{1}{(ka)^2} \cdot G_v(k;t) . \tag{15}$$

Фурье-образ АКФ поля $v(x,t)$ известен [4]:

$$G_v(k;t) = \frac{1}{(k \cdot t)^2} \int_{-\infty}^{\infty} [\theta_2(k \cdot t, -k \cdot t, s) - \theta_1(k \cdot t) \cdot \theta_1(-k \cdot t)] \cdot \exp(-i \cdot k \cdot s) \cdot \frac{ds}{2 \cdot \pi} , \tag{16}$$

где $\theta_2(k_1, k_2; s) =< \exp\{i \cdot [k_1 \cdot v(x,0) + k_2 \cdot v(x+s,0)]\} >$ и $\theta_1(k) =< \exp[i \cdot k \cdot v(x,0)] >$ — двухточечная и одноточечная характеристические функции начального статистически однородного поля $v(x,0)$, связанного с начальным полем $h(x,0)$ через (11).

Формулы (9), (15) и (16) дают полное решение задачи нахождения аналитической зависимости УЭПР (1) в данном случае.

Для гауссова начального поля $v(x,0)$ с нулевым средним выражение (16) заметно упрощается [4]:

$$G_v(k;t) = \frac{\exp[-B_0(0) \cdot (k \cdot t)^2]}{(k \cdot t)^2} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} [\exp(B_0(s) \cdot k^2 \cdot t^2) - 1] \cdot \exp(-i \cdot k \cdot s) \cdot \frac{ds}{2 \cdot \pi} , \tag{17}$$

где согласно (8) и (14) начальная АКФ $B_0(s) = -a^2 \cdot \partial^2 B_z(s;0) / \partial s^2$.

В докладе рассмотрены различные предельные случаи зависимости УЭПР (1) от координаты x и времени t, следующие из выражения (17) при больших и малых (по модулю) значениях локального волнового вектора (5).

Другая интерпретация решений уравнения (6) — рост поверхности донных отложений в некотором водоёме при равномерном выпадении на его дно осадка из воды. Таким образом, найденные для УЭПР выражения применимы и при концептуальном проектировании гидролокаторов с синтезированием апертуры антенны (с единственным отличием в том, что в акустике зондирование производится скалярной волной давления, поэтому поляризационные индексы в формуле (1) в этом случае отсутствуют). Кроме того, поскольку уравнение (6) описывает рост поверхности при напылении электронной микросхемы [4], то полученные результаты применимы также в микроэлектронике, например, при диагностике качества изделий.

Литература

1. Рассадин А. Э. Концептуальное проектирование радиолокационной станции с синтезированием апертуры антенны (РСА) на воздушном носителе "из первых принципов" [Электронный ресурс] // Журнал радиоэлектроники. 2012. N 1. Режим доступа: http://jre.cplire.ru/jre/jan12/2/text.pdf . 35 с.
2. Рассадин А. Э. О рассеянии электромагнитных волн на динамических подстилающих поверхностях // Сборник материалов Всероссийской ежегодной научно-технической конференции «Общество, наука, инновации». — Киров, 2012. С. 1364-1368.
3. Волосюк В. К., Кравченко В. Ф. Статистическая теория радиотехнических систем дистанционного зондирования и радиолокации / Под ред. В. Ф. Кравченко. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 704 с.: ил.
4. Гурбатов С. Н., Руденко О. В., Саичев А. И. Волны и структуры в нелинейных средах без дисперсии. Приложения к нелинейной акустике. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.: ил.
5. Рытов С. М. Введение в статистическую радиофизику. Ч. 1. Случайные процессы. — М.: Наука, 1976. – 494 с.: ил.

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ, ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ПАРАМЕТРОВ ДКМВ РАДИОТРАСС

А.В. Львов, С.А. Метелев
(Нижний Новгород, ОАО "НПП "Полет", alexey@lvov.in)

INFORMATION CONTROL SYSTEM OF CONTROL, DIAGNOSTICS AND REAL-TIME MONITORING OF PARAMETERS HF RADIO PATHS

A.V. Lvov, S.A. Metelev

Нестационарность и многолучевость ДКМВ канала радиосвязи резко усложняют проведение испытаний разрабатываемой авиационной аппаратуры связи и управления, значительно удлиняют сроки проведения этих испытаний, их стоимость, и не позволяют адекватным образом интерпретировать результаты тестовых проверок. Особенно это становится актуальным для нового поколения адаптивных систем цифровой воздушно-наземной ДКМВ связи для летательных аппаратов, требующих при их создании и технологической отработке полного представления о таких физических характеристиках принимаемого радиосигнала как напряженность поля радиоволны, спектр его амплитуды и фазы, характер изменения сигнала во времени за счет ионосферных замираний, интервал многолучевости и доплеровское уширение.

Поэтому актуальной становится разработка единой автоматизированной системы радиомониторинга каналов связи ДКМВ диапазона, позволяющей оперативно получать данные об указанных характеристиках принимаемого сигнала с пространственно разнесенных радиополигонов в реальном времени в центральном пункте сбора и обработки информации с